

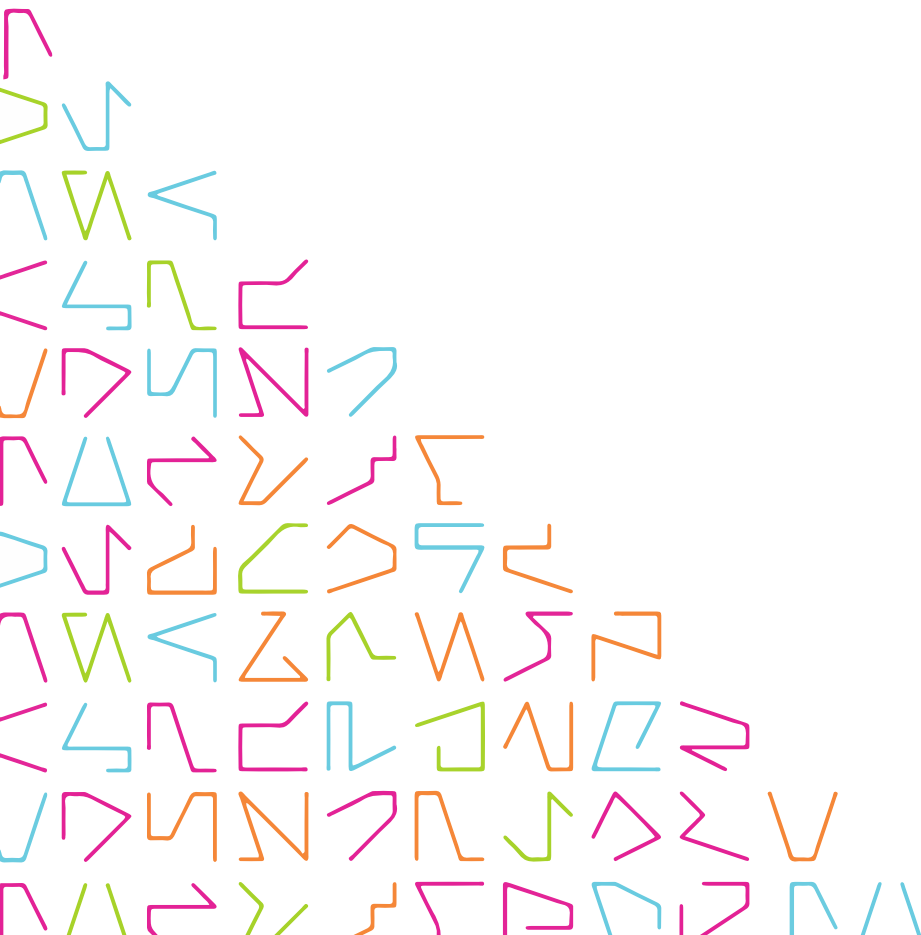


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# NUUTTAUKSEN OPTIMOINTI

Joel Järvenpää

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Biotuote- ja prosessitekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikka

JÄRVENPÄÄ JOEL  
Nuutauksen optimointi

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää eri nuuttausolosuhteiden vaikutusta tuloksena olevaan saumaan ja tämän pohjalta joko vahvistaa tai muuttaa olemassa olevia suositusarvoja.

Nuuttaaminen on erityisesti pakkausteollisuudessa käytetty tapa muodostaa laatikkoon taiveurat. Tarkat ja tasalaatuiset nuuttaukset ovat tärkeitä etenkin nopeilla pakkauslinjoilla onnistuneen taitoksen ja katkeamattoman täytön varmistamiseksi. Onnistunut nuuttaus tekee pakkauksesta paremman näköisen, mutta myös parantaa laatikon vahvuutta.

Nuutattavuudella kuvataan kartongin kykyä mukautua nuuttausviivaimen muotoon ja säilyttää nuuttaukselle tavoiteltu muoto. Hyvään nuutattavuuteen vaaditaan kartongilta pinta-juuutta sekä elastisuutta pinnan murtumisen välttämiseksi. Korkea taitettavuuskerroin alhaisella viivaimensyvyydellä on yleensä merkki hyvästä nuutattavuudesta. Kartonki, jonka nuuttaukset muuttuvat vain vähän nuuttaussyvyyden vaihdellessa, on ideaali nuuttaukseen.

Nuuttauksen ansiosta kartonki taipuu ilman murtumista halutusta kohdasta ja haluttuun suuntaan. Nuuttaukset toimivat saranoina, joiden avulla kotelo voidaan kasata. Nuuttaukseen vaikuttavat nuuttaustyökalut ja työkalujen asetukset. Myös nuutattava kartonkilaji ja sen ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi nuuttauksen lopputulokseen. Tärkeimpiä muuttujia kartongissa ovat paksuus, bulkkisuus, rakenne ja raaka-aine.

Kokeellisessa osuudessa näytteinä oli kolme eri nuutattua kartonkilajia: Classic FBB, Pro FSB ja Pro FSB Cup. Näytteitä analysoitiin nuuttaustuloksen arviointiin käytetyillä mittalaitteilla (BOBST crease checker ja Lorentz & Wettren taivutusjäykkäysmittari).

Osa aineistoista on salassapitovelvollisuuden alaista ja tämän vuoksi jätetty pois julkisesta raportista.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Bioproduct- and process engineering

JOEL JÄRVENPÄÄ  
Optimisation of Creasing

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 7 pages  
April 2018

---

The aim of the thesis work was to define how the creasing conditions affect the final crease and use this as a basis to either confirm or change the existing recommended values.

Creasing is a way of creating folds to a box that is used especially in the packaging industry. Precise and consistent creases are vital at high-speed packaging lines to ensure successful folding and uninterrupted filling. A successful crease does not only make the package look better but it also enhances its strength

Creaseability describes the ability of paperboard to adapt to the shape of the ruler and retain the desired form. Good creaseability requires surface strength elasticity from the paperboard to avoid surface cracking. High folding factor combined with low ruler depth is usually a sign of good creaseability. Paperboard of which creases change only a little when the ruling depth is changed is ideal for creasing.

Due to creases paperboard can bend without cracking at a desired spot to desired direction. Creases work as hinges that are needed to build the box. The tools and settings that are used affect the result of the crease. The paperboard and its properties have a big impact on the final result. Some of the most important variables in paperboard are: thickness, bulk, structure and raw-materials used.

Three different type of creased paperboard grades were used as samples: Classic FBB Pro FSB and Pro FSB Cup. The samples were tested on BOBST crease checker and Lorentz & Wettre bending tester.

Some of the material is confidential and therefore left out of the public report.

---

Key words: creasing, creaseability, packages, paperboard

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NUUTATTAVUUS .....	7
2.1	Optimaalinen nuuttaussauma .....	8
2.2	Jäykkyys ja taivutusjäykkyys.....	9
3	NUUTTAAMINEN.....	11
3.1	Nuuttausmenetelmät .....	13
3.1.1	Työkalut .....	14
3.2	Ajettavuuteen vaikuttavat tekijät .....	15
3.2.1	Takaisinponnahdusmomentti .....	15
3.2.2	Epäsymmetrinen nuuttaus .....	16
3.2.3	Kartongin murtuminen eli Cracking .....	16
4	KARTONGIN OMINAISUUDET.....	18
4.1	Neliömassa ja bulkki.....	18
4.2	Kuituorientaatio ja formaatio .....	18
4.3	Monikerrosrakenne .....	19
4.4	Raaka-aineet.....	19
4.5	Kartonkilajit .....	20
4.6	Ulkonäkö.....	21
5	KOKEELLINEN OSUUS .....	22
5.1	Kartonkinäytteet.....	22
5.1.1	Classic FBB.....	22
5.1.2	Pro FSB .....	23
5.1.3	Pro FSB Cup .....	24
5.2	Näytteiden valmistelu .....	26
5.3	Bobst Crease Checker .....	26
5.4	Lorentzen & Wettre Bending Tester .....	26
6	YHTEENVETO .....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET .....	33

## LYHENTEET JA TERMIT

Delaminointi	Palstautuminen useaksi eri kerrokseksi
FBB	Folding Box Board
FSB	Food Service Board
SBB	Solid Bleached Board
SBS	Solid Bleached Sulphate
CTMP	Chemi-thermomechanical pulp, kemikuumahierre
Foldability	taitettavuus
Curvature	kaarevuus
Folding Factor	taitettavuuskerroin
Crease/Score	nuuttaus
UNC	uncreased, nuuttaamaton
C	creased, nuutattu
bead	nuutin palko
spring-back moment	takaisinponnahdusmomentti

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Metsä Board Äänekosken Technology Centrelle. Metsä Board on osa Metsä Group konsernia, joka on yksi johtavista toimijoista metsäteollisuudessa Suomessa sekä kansainvälisellä tasolla.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella erilaisten muuttujien vaikutusta nuutattavuuteen ja nuuttaussauman laadukkuuteen. Tutkimalla neliömassavaihtelua, eri reseptien vaikutusta ja eri nuuttaustyökalujen käyttöä oli tarkoitus joko vahvistaa tai muuttaa Metsä Groupin olemassa olevia suositusarvoja eri kartonkilajien nuuttaamiseen.

Opinnäytetyön kokeellisessa osassa tutkittiin nuutattuja näytteitä. Näytteitä oli nuutattu Metsä Boardin ohjearvoilla sekä hellävaraisemmin, että voimakkaammin mitä ohjearvot määrittelevät. Näytteiden avulla oli tarkoitus selvittää, miten kanavanleveys vaikuttaa nuutin ominaisuuksiin. Tutkimukset suoritettiin Metsä Board Äänekoski TC:n testauslaboratoriossa.

Hyvä nuuttaussauma on kriittinen etenkin korkeanopeuksisilla pakkauslinjoilla, jossa pakkausten tulee avautua ja kulkea linjaston läpi täysin ongelmitta ja näyttää visuaalisesti hyviltä.

## 2 NUUTATTAVUUS

Nuutattavuus kuvaa materiaalin, kuten kartongin, soveltuvuutta taiveuran muodostamiseen. Nuuttauksen tavoitteena on alentaa materiaalin taivutusjäykkyyttä halutusta kohdasta painamalla materiaalia nuuttausterällä. Painettaessa nuuttausterällä kartongin sisäinen lujuus heikentyy ja optimaalisessa tapauksessa kartongin keskustassa tapahtuu plastinen muodonmuutos kartongin palstautuessa. Tällöin kartonki jakautuu erillisiksi kerroksiksi. Tämä sallii kartongin taittumisen sisäänpäin nuuttauksen kohdalta. (KnowPap. 2018)

Kartongin kokoonpuristuvuus on yleensä puolet tai kolmasosa vetolujuudesta jolloin kartonkia painettaessa kasaan pinta pysyy koossa säilyttäen vetolujuutensa. Hyvä nuutattavuus edellyttää pintakerrokselta lujuutta ja suurta murtovenymää, sillä nuuttauksen kohdalla uloimpaan kerrokseen kohdistuu suurin jännitys. (Iggesund Paperboard AB. 2010, 187)

Nuutattavuudella kuvataan kartongin kykyä mukautua nuuttausviivaimen muotoon ja säilyttää nuuttaukselle tavoiteltu muoto. Nuuttaussauman muodosta, sijainnista ja symmetriasta on tullut yhä enenevässä määrin tärkeämpiä pakkauslinjojen pyrkiessä parempaan tehokkuuteen ja luotettavuuteen. (KnowPap. 2018)

Nuutattaessa tavoitteena on, että kartonki palstautuu useampaan kerrokseen eli delamiinoituu niin moniksi ohuiksi yksittäisiksi sekä ehjiksi kerroksiksi kun mahdollista. Kyseiselle rakenteelle ovat eduksi pitkät kuidut sekä kuitujen tasosuuntainen orientoituminen. Nuutattavalta materiaalilta ja sen päällysteeltä vaaditaan riittävää joustavuutta murtumisen ehkäisemiseksi. Elastinen materiaali muotoutuu paremmin murtumatta. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 135)

Oikea ja tasainen kosteus on tärkeää, koska kuiva kartonki on herkempi murtumisille. Toisaalta liian kostealla kartongilla on heikompi jäykkyys ja se on vaikeammin delamiinoitavissa. Kartongin dimensiot voivat myös vaihdella kosteuden seurauksena. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 136).

Taitettavuuskerrointa käytetään usein kuvaamaan kartongin nuutattavuutta. Korkea taitettavuuskerroin alhaisella viivaimensyvyydellä on yleensä merkki hyvästä nuuttautuvuudesta. Kartonki, jonka nuuttaukset muuttuvat vain vähän nuuttaussyvyyden vaihdellessa on haluttavaa, sillä työkalut kuluvat ajan kuluessa ja täten aiheuttavat muutoksia asetuksiin haluamattakin. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 134)

Nuutattavuuteen vaikuttaa monta muuttujaa, kuten taulukosta 1 voidaan nähdä. Tämän vuoksi myös ongelmatilanteiden kartoittaminen voi olla haasteellista.

TAULUKKO 1. Kartongin muuttujat nuuttauksessa (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 233)

<b>Important board properties for creasing</b>
Elasticity and elongation
Tensile strength
Compressibility in z-direction
<b>Influencing board factors</b>
Thickness
Fibre type
Structure
Fibre orientation
<b>Other requirements</b>
Flatness
Moisture content

## 2.1 Optimaalinen nuuttaussauma

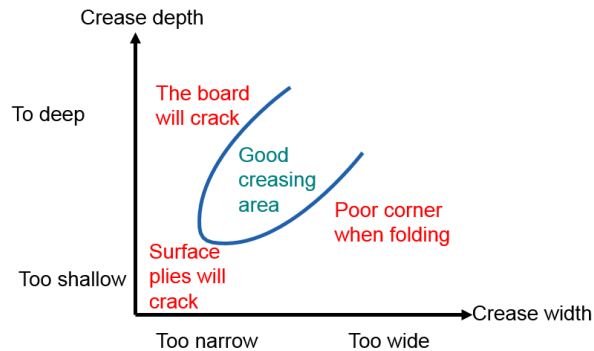
Täydellisessä tapauksessa nuuttauksen tulisi toimia kuin sarana taitettaessa. Hyvä nuuttaus on kapea ja syvä, jolloin reunoista ja kulmista tulee tarkkoja. Liian kapea nuuttaus kuitenkin aiheuttaa suurta jännitystä kartongin pintakerrokseen, joka voidaan nähdä pinnan murtumisena. Liian syvä nuuttaus johtaa myös kartongin murtumiseen. Liian leveä nuuttaus taas tekee taitoskohdasta epätarkan. (Iggesund Paperboard AB. 2010, 186)

Hyvin nuuttaantuva kartonki saavuttaa korkean taitettavuuskertoimen pienilläkin nuuttaussyvyyksillä. Nuuttauksen syvyyttä lisäämällä taitettavuuskertoimen tulisi muuttua



vain vähän. Hyvä nuutattava materiaali ei ole herkkä murtumiselle ja taittelulle sekä kestää nuuttausta eri syvyyksillä ja leveyksillä. (Iggesund Paperboard AB. 2010, 186)

Mikäli nuuttaus ei ole tarpeeksi syvä, nuutatessa ei tapahdu tarpeeksi palstautumista, jolloin kartonki pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoon taiton jälkeen. Kuten kuvioista 1 voidaan nähdä, hyvä nuuttaussauma on siis kompromissi – sauma tulee olla mahdollisimman syvä ja kapea ilman, että siinä on visuaalisesti nähtävää murtumista eli crackinia pinnalla.



KUVIO 1. Optimaalinen nuuttausalue (Metsä Group)

Hyvät nuutaukset eivät ole tärkeitä pelkästään visuaalisen ilmeen vuoksi, vaan ne ovat tärkeitä myös laatikon kestävyys kannalta. Esimerkiksi hyvin nuutattu laatikko kestää enemmän painoa kasattuna päällensä kuin epätasainen huonosti nuutattu laatikko.

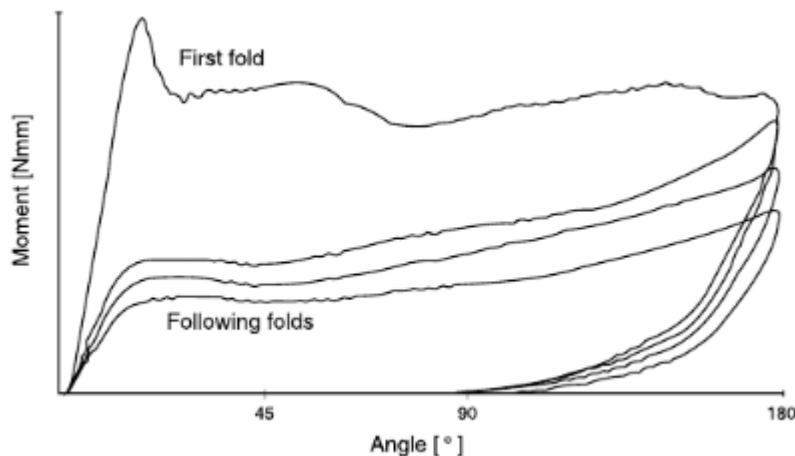
## 2.2 Jäykkyys ja taivutusjäykkyys

Jäykkyyden ja erityisesti taivutusjäykkyyden on todettu hyvin korreloivan ajettavuuden kanssa jatkojalostus- ja pakkauslinjoilla, sillä kartongin korkea jäykkyys antaa lopputuotteelle ryhtiä ja lujuutta ja täten helpottaa sen käsittelyä. Korkea jäykkyys yhdessä onnistuneen nuutauksen kanssa auttaa kartonkia pysymään halutussa muodossa. Pelkkä materiaalin korkea bulkkisuus ei takaa jäykkyyttä vaan merkittävä osa taivutusjäykkyydestä

muodostuu materiaalin kimmokertoimen vaikutuksesta. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 131).

Jäykällä kuiduilla saadaan bulkkisempi rakenne kuin taipuisilla kuiduilla, mutta esimerkiksi jauhatuksella saadaan parannettua kuitujen sitoutuvuutta, mikä puolestaan parantaa jäykkyyttä. Tällöin kokonaisvaikutus jauhatuksella on lähes olematon jäykkyyden kannalta. Rainanmuodostus vaikuttaa hieno- ja täyteainejakaumaan sekä formaatioon, mikä vaikuttaa kartongin jäykkyyteen. Märkäpuristuksella voidaan parantaa rainan sitoutumista, mutta samalla menetetään bulkkia rainan tiivistyessä. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 132).

Nuuttaamattoman kartongin ensimmäiseen taitoksen taittamisessa tarvitaan huomattavasti suurempi momentti kuin seuraaville kerroilla kuten kuviossa 2 voidaan havaita. Koteloaihiot yleensä esitaitellaan sivuliimauksessa, jolloin vaadittava voima on alhaisempi pakkauslinjalla. Nuuttausten elastisuus on myös riippuvainen ajasta eli pitkään varastoitu laatikko käyttäytyy eri tavalla kuin tuoreeltaan nuutattu. (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 235)



KUVIO 2. Taitettavuusmomentin muutos (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 235)

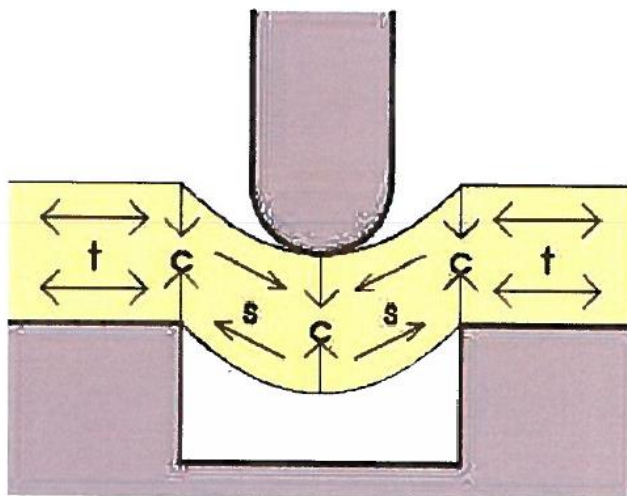
Nuuttaussuunnalla on merkitystä ensimmäisen taitoksen kannalta siten, että konesuuntaisella nuuttauksella ei ole selkeää taitoskohtaa jolloin momentti tippuisi vaan se jatkaa kaartumista loivasti. Ensimmäisen taitoksen jälkeen nuuttaukset muodostavat lähes samanlaisen momenttikuvaajan.

### 3 NUUTTAAMINEN

Nuuttausta käytetään erityisesti pakkausteollisuudessa, jossa tavoitteena on muodostaa taivutettava ura. Ura muodostetaan viemällä materiaali nuuttausstanssin ja kanaalin väliin ja puristamalla materiaalia näiden välissä. Puristettaessa materiaalissa tapahtuu plastinen muodonmuutos. Nuuttauksen ansiosta kartonki taipuu ilman murtumista halutusta kohdasta ja haluttuun suuntaan. Nuuttaukset toimivat saranoina, joiden avulla kotelo voidaan kasata. Korkealaatuinen nuuttaus on välttämätöntä korkeanopeuksisilla pakkauslinjoilla hyvän visuaalisen ilmeen ja prosessin katkeamattomuuden vuoksi. (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 233)

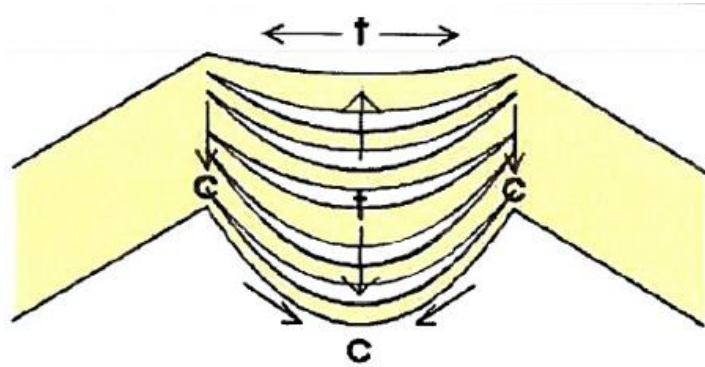
Muuttujia nuuttauksessa ovat kanaalin syvyys ja leveys sekä viivaimen leveys ja sekä kuinka syvälle viivain uppoaa kanaaliin. Eri valmistajilla voi olla myös eri profiilisia viivainten päitä ja kanaalin reunojen muoto sekä jyrkkyys vaikuttavat myös nuuttaustulokseen (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 233)

Nuutattaessa kartonkiin kohdistuu pääasiassa kolmenlaisia voimia, jotka ovat nähtävissä kuviossa 3: vetojännitys (tensile), puristusvoima (compression) ja venyttävä leikkausvoima (shear). Suurin voima kohdistuu nuuttausviivaimen vastakkaiselle puolelle, sillä kyseiseen kohtaan kohdistuu eniten voimia ja se joutuu täten venymään eniten. Tämän vuoksi kartongin pohja- ja pintakerroksissa käytetään sellua, vaikka kartonki muuten olisi valmistettu mekaanisesta massasta tai kierrätyskuidusta. Tällöin kartongin nuutattavuusominaisuudet paranevat huomattavasti.



KUVIO 3. Nuuttauksessa esiintyvät voimat (Metsä Group)

Kuviossa 4 kartonkia taitettaessa saman tyyppiset voimat vaikuttavat kartonkiin kuin nuuttaessa kuten kuviossa 4 voidaan havaita. Rakenteen palstautumisen vuoksi taitettaessa ei ole venyttäviä leikkausvoimia. Ajettavuusongelmat pakkauslinjoilla johtuvat kuitenkin usein pintakerroksen murtumisesta taittamisen jälkeen.



KUVIO 4. Taitettaessa esiintyvät voimat (Metsä Group)

Nuuttausasetuksia määritettäessä kiinnitetään yleensä huomiota kartongin tyyppiin sekä erityisesti sen paksuuteen. Näiden tietojen perusteella on olemassa suosittelutaulukoita eri viivain ja kanavan leveyksille. Nuutattaessa pyritään koteloaihiot leikkaamaan ja nuuttaamaan siten, että kotelon pisimmät nuuttaukset ovat poikkisuuntaan.

Nuutattaessa paksumpia kartonkeja tai aaltopahvia voidaan murtumista estää leventämällä nuuttaustanssia ja kanaalia. Kanaalia ja nuuttaustanssia leventämällä kuitenkin saadaan epätarkempi nuuttaussauma. Elastinen materiaali palstautuu paremmin murtumatta, jolloin mekaanisen- tai kierrätyskuidun nuuttautuvuutta voidaan parantaa huomattavasti lisäämällä kerros sellua kartongin ulkopinnoille.

### 3.1 Nuuttausmenetelmät

Nuuttauksen ollessa olennainen osa pakkausteollisuutta on erilaisia nuuttausmenetelmiä kehitetty vastaamaan eri tarpeita. Laboratorio-olosuhteissa nuuttaukseen voivat soveltua käsikäyttöiset nuuttauslaitteet, mutta teollisilla jalostuslinjoilla koneilta vaaditaan suurta tehokkuutta ja nopeutta.

Rotaatiostanssi on on-line nuuttausmetodi, jossa nuuttaus tapahtuu nipissä kahden sylite- rin välissä. Rotaationuuttaus on nuuttausmenetelmänä yleensä kallis ja vaatii huomatta- vasti enemmän aikaa tuotannon aloittamiseksi. Rotaatiostanssaus menetelmä on yleensä parempi vaihtoehto pitkissä ajoissa, jotka vaativat korkeaa nopeutta. (Seppälä, M. J. 2004, 174)

Offline metodeista yleisin on Flat die-cutting eli laakastanssi (kuvio 5). Arkit syötetään sisään ja stanssaus ja nuuttaus tapahtuvat yhtäaikaista. Stanssaus- ja nuuttausteriä ympäröivät kumityynyt työntävät terät ja aihion erilleen toistaan, jotta aihio voidaan siirtää seuraavaan vaiheeseen. Tämän jälkeen ylimääräiset osat aihioitten ympäriltä poistetaan paineilman avulla.

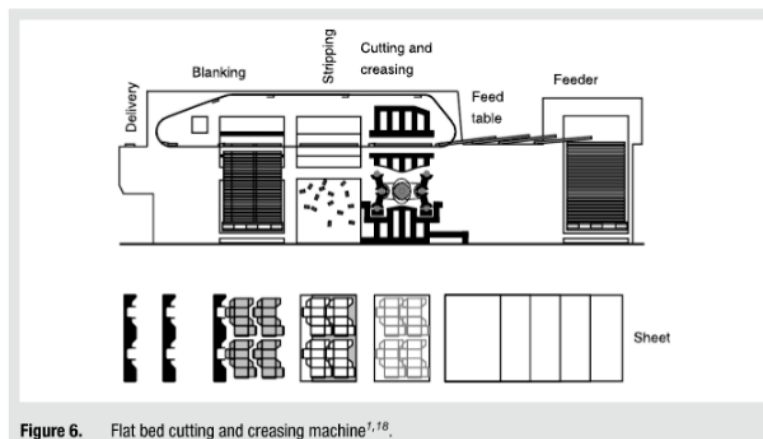


Figure 6. Flat bed cutting and creasing machine<sup>1,18</sup>.

KUVIO 5. Laakastanssi (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 229)

Nuutattaessa laakastanssilinjalla leikkausteriin tehdään pieniä lovia, jotta koteloaihio ei olisi täysin irrallaan, vaan pysyisi osittain kiinni arkissa pienten ohuiden kartonkisiltojen avulla. Näitä pieniä lovia kutsutaan nickseiksi. Niiden tarkoituksena on pitää koteloaihio kiinni aihiossa läpi stanssauksen ja ylijäämäpalojen poistossa. (Seppälä, M. J. 2004, 174)

### 3.1.1 Työkalut

Nuuttausuran muodostamiseen on monta eri työkalua. Yksi suurin valintakriteeri nuuttaustyökalun valitsemiseen on ajettavien aihoiden lukumäärä. Cito valmistaa liimattavia kanaalmatriiseja, jotka soveltuvat erityisesti lyhyisiin ajoihin. Marbachin valmistama Pertinax rillma (kuva 1), jonka etuina katsotaan olevan sen halpa hinta ja helppokäyttöisyys. Rillma on niin sanottu perinteinen tapa nuutata ja se on ollut käytössä vuosikausia. Toinen työkalu on teräsmatriisi (kuva 2), johon kaiverretaan suoraan nuuttaus- ja stanssausurat.



KUVA 1. Rillma (Marbach)

Teräsmatriisin kanaalin ulkoseinämällä on pienempi kulma verrattuna rillmaan, minkä vuoksi se on hellempi kartongille nuutattaessa. Teräsmatriisissa levy on alueeltaan koko ajan sama eli noin 1 millimetrin paksuinen. Teräslevyä käytettäessä myös viivaimen korkeus pysyy samana.



KUVA 2. Teräsmatriisi (Marbach)

Teräsmatriisin ongelmana on sen huono muokattavuus, kun toisaalta taas rillman etuna on sen helppo muokattavuus. Perinteisen rillman heikkona puolena on, että useampien toistojen jälkeen se alkaa kulumaan, kun taas toisaalta teräsmatriisi kestää pitkiä ajoja. Stanssauskoneissa ylätökaluna käytetään yleensä kustannussyistä hygroskooppista vaneria. Vaneri elää, mutta teräs ei, mikä muodostaa ongelman. Tämän vuoksi laidoilla yleensä ilmenee ongelmia vanerin dimensioiden muutoksen seurauksena. Marbach suosittelee, että urista tehdään vähän leveämpiä tämän kompensoimiseksi mikä vaikuttaa nuuttaustarkkuuteen.

Marbach mainostaa teräsmatriisiaan ehdottomaksi hankinnaksi pidempiin ajoihin johtuen sen tarkkuudesta ja suuremmista ajonopeuksista. Marbachilta saadun tiedon mukaan kaikki uudet stanssauskoneet käyttävät teräslevyjä.

### **3.2 Ajettavuuteen vaikuttavat tekijät**

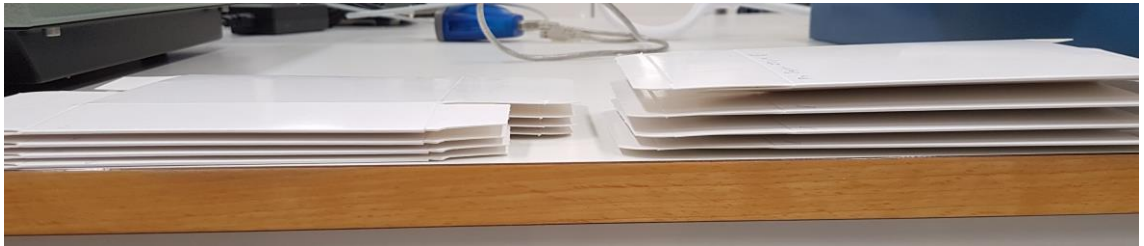
Pakkauslinjalla on tärkeätä, että kotelo taittuu juuri ennalta suunnitelluista kohdista halutulla tavalla. Yksi ajettavuuteen liittyvä nuuttaamisongelma on, jos koteloaihio taittuu väärästä tai vääristä kohtaa jolloin laatikko ei käyttyädy halutulla tavalla.

Kartongin sisäiset kerrokset voivat olla liian sitoutuneet toisiinsa, jolloin eri kerrokset eivät pysty palstautumaan halutulla tavalla. Tämän vuoksi liian suuri palstautumislujuus voi muodostua ongelmaksi. Mikäli kartongin keskikerroksessa ei tapahdu vaadittavaa delaminoitumista, on mahdollista että kartonki ei taivu halutulla tavalla. Tällöin huonojen nuuttausten vuoksi koteloaihiolla voi olla liian suuri taivutusvastus.

#### **3.2.1 Takaisinponnahdusmomentti**

Spring-back eli takaisinponnahdusmomentti tai Crease recovery resistance (CRR) kertoo, kuinka kovalla voimalla kartonki pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoonsa taivutuksen jälkeen. Joillakin kartonkilajeilla voi olla olematon takaisinponnahdusmomentti, jolloin sivuliimatut laatikkoaihiot eivät välttämättä avaudu pakkauslinjalla ilmapaineen

avulla ja täten niiden täyttäminen ei onnistu. Liian suuri takaisinponnahdusmomentti taas aiheuttaa paketin pullistumista ja tekee siitä visuaalisesti epämiellyttävän näköisen. Liian suuren takaisinponnahdusmomentin syynä on yleensä riittämätön palstautuminen, jolloin kartongissa ei ole tapahtunut tarpeeksi plastista muodonmuutosta, vaan se pyrkii palautumaan alkuperäiseen muotoonsa kuten kuvassa 3 voidaan havaita. Ongelmana voi olla myös takaisinponnahdusmomentin vaihtelu kartonkilajin sisällä, mikä aiheuttaa suuria ongelmia pakkauslinjalla. (Iggesund Paperboard AB. 2010, 190)



KUVA 3. Laatikon takaisinponnahdus

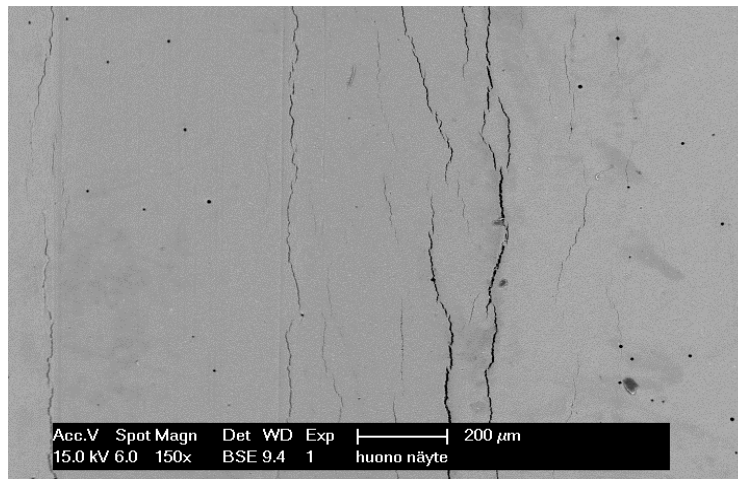
### 3.2.2 Epäsymmetrinen nuuttaus

Epäsymmetrinen nuuttaus voi johtua siitä, jos nuuttausstanssi ei osu kohtisuoraan kanaaliin, vaan sen sivuun. Tämä johtaa huonoon lopputulokseen. Epäsymmetrinen nuuttaus voi myös pahimmassa tapauksessa lisätä leikkausvoimia toisella puolella nuuttia johtaen tämän murtumiseen. Tämä ongelma on varsin yleinen ongelma nuuttauksessa. Pienikin heitto voi vaikuttaa suuresti nuuttaussauman ominaisuuksiin. (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 234)

### 3.2.3 Kartongin murtuminen eli Cracking

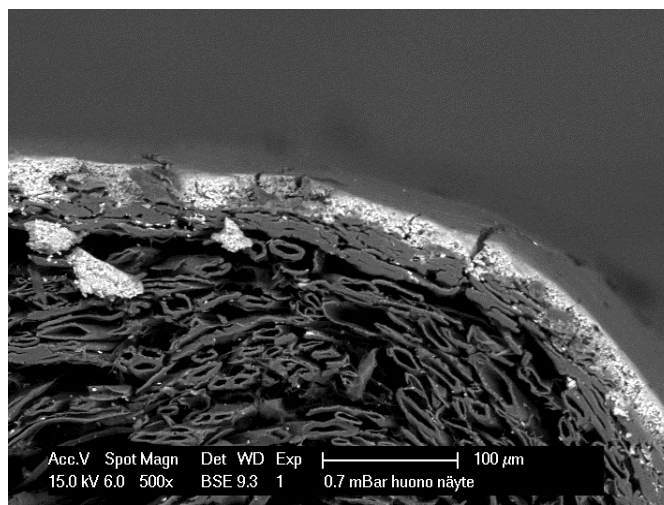
Kartongin murtumista tapahtuu, kun kartongin pintakerrokseen kohdistuu liian suuria voimia, jolloin kerros ei pysty enää venymään vaan murtuu (kuva 4 ja 5). Yleensä murtumista ilmenee, kun nuuttauksen syvyyttä kasvatetaan. Parhaiten murtumista on nähtävissä painetuissa kartongeissa, jossa se ilmenee valkoisena värinä painetulla pinnalla. Pastakerroksen joustavuutta heikentävät sideaineet voivat aiheuttaa pastan liiallisen kovettumisen kuivuessaan ja tällöin kartonki murtuu.





KUVA 4. Mikroskooppikuva näytteestä (Metsä Group)

Murtuminen muodostuu ongelmaksi vasta sitten, kun se on visuaalisesti havaittavissa. Noin 100 mikrometrin levyiset halkeamat ovat jo selvästi havaittavissa paljaalla silmällä. Yksikerrosrakenteiset kartongit ovat herkempiä murtumiselle kuin monikerroksiset kartongit



KUVA 5. Mikroskooppikuva poikkileikkeestä (Metsä Group)

Paksuja päällystekerroksia käytettäessä on suurempi riski taittomurtumalle, sillä kartongin pintaan applikoitu pasta on tiiviimpää ja siten herkempää murtumaan kartonkiin verrattuna. Tämä korostuu etenkin käytettäessä päällystyspigmentejä, joissa on suuria levyisiä partikkeleita. Sideaineet puolestaan auttavat pitämään päällysteen elastisena.

Yksikerroksinen kartonki on herkempi murtumiselle kuin monikerrosrakenteinen johtuen erilaisesta palstautumisesta. Myös kartongin kosteus vaikuttaa murtumiseen, sillä liian kuivat kartongit ovat herkempiä murtumaan.

## 4 KARTONGIN OMINAISUUDET

Yksi onnistuneen nuuttauksen perusedellytyksistä on nuuttaukseen soveltuva kartonki. Kartongin ominaisuuksilla on suuri vaikutus nuuttauksen lopputulokseen. Onnistuneen nuuttauksen ja kotelonvalmistuksen edellytyksenä neliömassaltaan, paksuus- ja kosteusprofiileiltaan mahdollisimman tasalaatuinen kartonki.

### 4.1 Neliömassa ja bulkki

Neliömassa vaikuttaa lähes kaikkiin paperin tai kartongin ominaisuuksiin. Suurimmat muutokset tapahtuvat suoraan kuituaineksen ja lisäaineiden muutosten kautta. Neliömassaa alennettaessa alenevat myös paksuus, jäykkyys ja opasiteetti. Tällöin kartongin lujuusominaisuudet heikkenevät. Useimpia näistä ominaisuuksista voidaan kompensoida, mutta se tapahtuu yleensä jonkin muun ominaisuuden kustannuksella. Tällöin olennaisinta on miettiä mitkä ovat keskeisimmät ominaisuudet loppukäyttökohteen kannalta. Lujuuksien säilyttämiseksi joudutaan armeerausmassan pitoisuutta nostamaan.

Kartongin jäykkyys riippuu raaka-ainekoostumuksen kimmomoduulista sekä paksuudesta sen kolmannessa potenssissa. On siis erittäin tärkeää valmistaa kartonki kustannusten säästämiseksi mahdollisimman vähistä raaka-aineista mahdollisimman paksuksi ja bulkkiseksi (KnowPap. 2018)

Bulkilla tarkoitetaan tiheyden käänteisarvoa eli kuutiota per neliömetri ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ). Hyvä bulkki on haluttu ominaisuus kartongissa. Bulkkinen kartonki nuuttautuu paremmin ja samalla kuituainesta kuluu vähemmän.

### 4.2 Kuituorientaatio ja formaatio

Kartongin nuutattavuus riippuu voimakkaasti kuituorientaatiosta. Kartonki on epäsymmetrinen lujuusominaisuuksiltaan, mikä näkyy korkeampana vetolujuutena ja alhaisempana venymänä konesuuntaan kuin poikkisuuntaan. Kartonki käyttäytyy eri tavalla nuutauskulmasta johtuen, minkä vuoksi kone- ja poikkisuunnalla on yleensä erilaiset nuutausasetukset. Tämä korostuu erityisesti pitkäkuituisessa kartongissa. (Hine, D. 1999, 227-228).

Formaatio on eräs kartongin tärkeimmistä ominaisuuksista, koska se vaikuttaa moniin loppukäytön kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin kuten esimerkiksi vetolujuuteen. Kartongin neliömassan liian suuri vaihtelu voi aiheuttaa jalostusprosesseissa häiriöitä ja ominaisuuksien vaihtelua lopputuotteessa. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 133)

### **4.3 Monikerrosrakenne**

Kartonki on yleensä monikerrosrakenteista eli se koostuu useasta kuitu- ja päällystekerroksesta. Eri kerrosten erilaiset ominaisuudet ja kartongin rakenne kokonaisuudessaan vaikuttaa suuresti nuutautuvuuteen. Tyypillinen monikerrosrakenne taivekartongissa (FBB) on mekaanista massaa tai CTMP:tä keskikerroksessa ja pintakerrokset koostuvat sellusta. Monikerrosrakenne edesauttaa hallittua delaminoitumista eli palstautumista. Palstautuessa kartongin sisäiset kerrokset tulisi jakautua niin moneen ohueen kerrokseen kuin mahdollista pinnan murtumatta. Monikerrosrakenne on nuutattaessa yksikerrosrakennetta parempi, koska yksikerrosrakenteessa kartongin kuidut ovat tiukemmin sitoutuneet toisiinsa ja täten palstautuvat heikommin.

Taivekartongin paksuuden noustessa sen nuutattavuus yleensä paranee johtuen kartongin mekaanisesta massasta tai CTMP:stä koostuvan keskikerroksen paksuuden samalla noustessa. Tällöin kartongin keskikerroksessa on mahdollista tapahtua enemmän palstautumista. Yleisesti ottaen neliömassoiltaan korkeitten kartonkien pintakerroksissa tapahtuu murtumista herkemmin kuin keveissä kartongeissa, johtuen siitä että paksummissa kartongeissa uloimpaan kerrokseen kohdistuu suurempi voima nuutattaessa (Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998, 233)

.

### **4.4 Raaka-aineet**

Päällyskerrokset koostuvat sellusta ja ovat tiiviimpiä kuin keskikerros, joka koostuu yleensä mekaanisesta- tai kemikuumahierteestä (CTMP). Mekaaninen massa tai kemi-

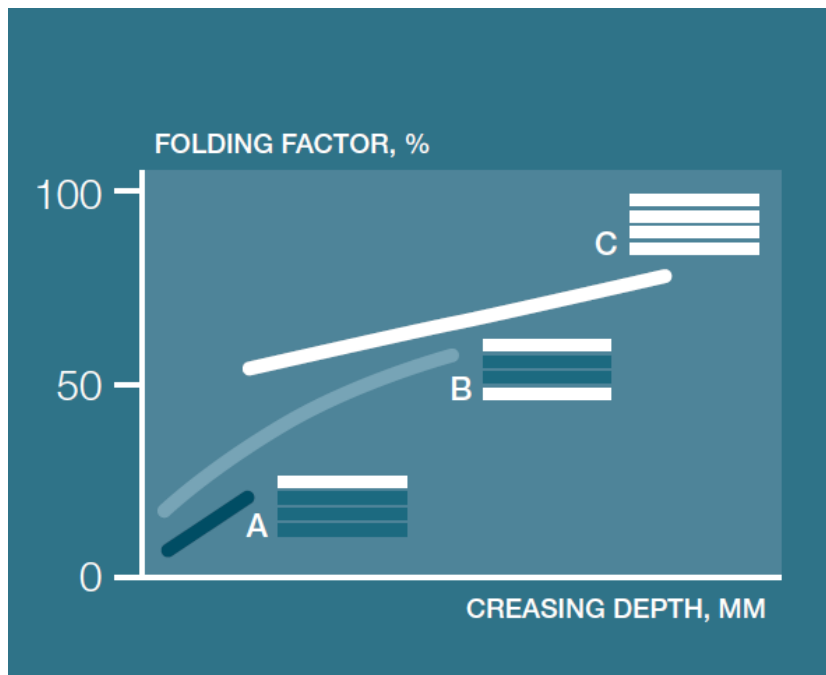
kuumahierre antavat valmiille kartongille bulkkisuutta, joka on tärkeä ominaisuus kartongin nuuttausvaiheessa, sillä nuuttaessa rakennemuutokset tapahtuvat juuri keskikerroksissa. Ulkokerroksissa käytetty sellu antaa puolestaan kartongille vahvuutta johtuen tiiviistä rakenteestaan. Kun kartongin pintakerrokseen lisätään sellua, saadaan optisten- ja pintaominaisuuksien lisäksi kartongille myös repäisy- ja vetolujuutta, jolloin se kestää huomattavasti paremmin murtumatta.

Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi etenkin tietyiltä kartonkilajeilta vaaditaan mikrobiologista puhtautta ja ulkonäköön kohdistuvat laadulliset vaatimukset. Nämä voidaan saavuttaa vain päällystämällä kartongin pinta. Tällöin kartongin pinnasta saadaan sileä, kiiltävä ja tasalaatuinen. (Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007, 131)

#### **4.5      Kartonkilajit**

Saman neliömassan taivekartonki on yleisesti ottaen jäykempää kuin valkaistu sellukartonki eli SBB, mutta SBB:llä on paremmat lujuusominaisuudet. Tästä syystä esimerkiksi Yhdysvalloissa on totuttu nuuttaamaan eri tavalla kuin Suomessa.

Sellun ominaisuudet ja määrä vaikuttavat suuresti kartongin nuuttautuvuuteen. Puhtaasta sellusta valmistetulla kartongilla on mahdollista saavuttaa korkea taitettavuuskerroin. Sellun hyviä ominaisuuksia voidaan käyttää hyödyntämällä monikerrosrakennetta. Mekaanisestamassasta tai CTMP:stä valmistettu keskikerrosten ylä- ja alapinnalle tulee sellukerros, joka parantaa huomattavasti kartongin nuutattavuutta verrattuna pintapäällystettyyn tai pelkästään mekaanisesta massasta valmistettuun kartonkiin kuten kuviossa 6 voidaan havaita. Tällä tavoin FBB:llä päästään lähes samaan taitettavuuskertoimeen verrattuna puhtaasta sellusta valmistettuun kartonkiin alemmilla kustannuksilla. (Iggesund Paperboard AB. 2010, 187)



KUVIO 6. Raaka-aineen vaikutus taittavuuskertoimeen (Iggesund Paperboard AB. 2010, 187)

#### 4.6 Ulkonäkö

Koska pakkaukset ovat nuuttauksen merkittävin loppukäyttökohde, niin pakkauksen ulkonäkö on merkittävässä roolissa. Pakkauksessa tulee olla informaatiota pakkauksen sisällöstä ja sen tulee antaa käyttöohjeita. Hyvän näköinen pakkaus myös edistää myyntiä.

Kosmetiikka ja elintarvikkeet kuten esimerkiksi suklaakonvehdit asettavat korkeat ulkonäkövaatimukset kartongille. Käytännössä näitä vaatimuksia on mahdotonta saavuttaa ilman pigmenttipäällystystä. Myös painamattomille pinnoille voidaan vaatia korkeaa vaaleutta jopa 88% ISO-vaaleus. Valtaosa koteloista painetaan offsetillä, jolloin kartongilla tulisi olla alhainen imukyky sen tulisi täyttää vähintään seuraavat vaatimukset:

- sileys 1,3  $\mu\text{m}$  (PPS)
- kiilto 30-45 % (Hunter 75°)
- vaaleus 80-83 % (ISO-vaaleus).

Kosmetiikkapakkauksissa voidaan vaatia huomattavasti korkeampaakin kiiltoa korkeakiiltolakkauksen tasaisuuden varmistamiseksi. (Knowpap. 2018)

## 5 KOKEELLINEN OSUUS

### 5.1 Kartonkinäytteet

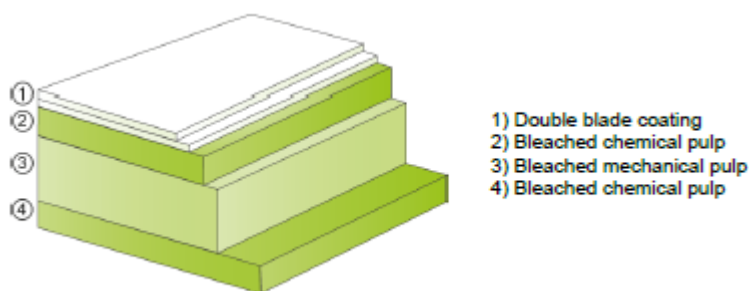
Mittauksissa keskityttiin kolmeen eri Metsä Boardin kartonkilajiin: Classic FBB, Pro FSB ja Pro FSB Cup. Kyseisillä kartonkilajeilla on jokaisella oma tuotesegmenttinsä ja ne tarjoavat hieman eriäviä ominaisuuksia.

#### 5.1.1 Classic FBB

Classic FBB:ssä mekaanisen massan osuus on kohtalaisen suuri verrattuna selluloosaan. Myös täyteaineita käytetään kyseisessä kartonkilajissa enemmän kuin muissa tässä opinnäytetyössä vertailtavissa lajeissa. Valitut ainesosat on selitettävissä pääasiassa halvoilla raaka-ainekustannuksilla, joiden myötä itse lopputuotekin on edullisempi. Classic FBB on Pro FSB:tä ja Pro FSB Cup:ia edullisempi niin sanottu peruskartonki.

TAULUKKO 2. Classic FBB:n spesifikaatiarvot (Metsä Group)

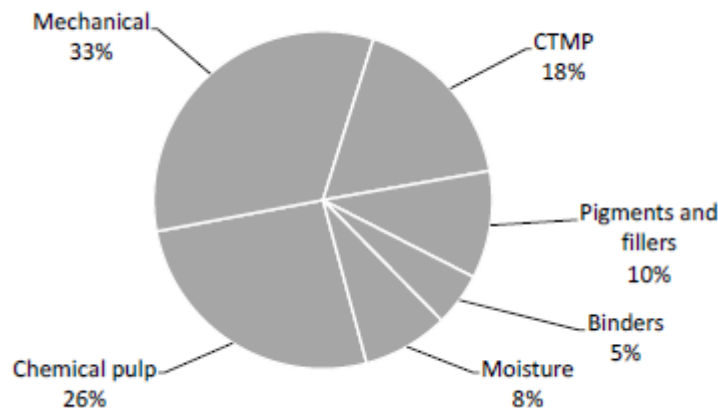
Grammage g/m <sup>2</sup>	200	210	225	235	250	260	275	290	315	340
Bending stiffness CD mNm	4.7	5.8	7.0	8.4	9.7	11.0	12.6	15.8	18.9	22.1
Bending stiffness MD mNm	10.5	12.1	15.0	17.0	19.2	22.6	25.2	31.0	37.8	45.2
Thickness µm	350	375	400	425	450	475	500	550	600	650
Moisture content %	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	9.0	9.0
Smoothness top µm	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4
Brightness top %	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
Colour CIELAB L* top	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5
Colour CIELAB a* top	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Colour CIELAB b* top	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Gloss %	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Off-flavour (Robinson test)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1



KUVIO 7 Classic FBB:n rakenne (Metsä Group)

Classic FBB:n rakenteessa noudatetaan hyväksi havaittua kerrosrakennetta: mekaanista massaa keskellä ja valkaistusta sellusta koostuvat pinta- ja pohjakerrokset. Classic FBB

on myös päällystetty. Classic FBB:tä myydään eri neliöpainoina. Keveimmillään 200 g/m<sup>2</sup> ja painavimmillaan 340 g/m<sup>2</sup>. Classic FBB soveltuu offset-, flexo- ja digitaalipainatukseen.



KUVIO 8. Classic FBB:n koostumus (Metsä Group)

### 5.1.2 Pro FSB

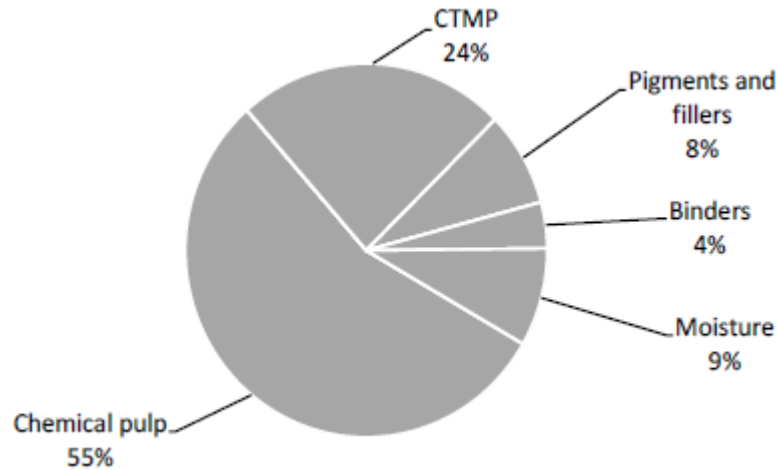
Pro FSB:ssä ei ole lainkaan puhdasta mekaanista massaa, vaan se on korvattu täysin CTMP:llä. Yli puolet kuituaineksesta muodostuu tästä, mutta ylä- ja alapinnan vahvistamiseksi on joukkoon lisätty kemiallista sellua. Pro FSB:llä ja Pro FSB cupille voidaan lisätä barrier-ominaisuuksia ekstruusio- tai dispersiopäällystyksellä. Pro FSB on tarkoitettu Food service boardiksi eli kartongiksi muun muassa take-away ruokapakkauksiin ja kertakäyttölautasiin. Pro FSB:n pigmenttipäällysteen ansiosta se tarjoaa hyvät painatusominaisuudet. Pro FSB:tä myydään 195-345 g/m<sup>2</sup> neliömassaisena

**TAULUKKO 3. Pro FSB:n spesifikaatiarvot (Metsä Group)**

[illegible]







KUVIO 10. Pro FSB Cupin koostumus (Metsä Group)

Metsä Boardin kartongeille on olemassa nuuttaukselle omat suositusasetuksensa (taulukko 5). Mikäli tietyt dimensiot eivät ole saatavilla, työkaluille ohjeistetaan käyttämään lähintä vastaavaa. Mikäli kartongin paksuus osuu ohjearvojen väliin, käytetään myös siinäkin tapauksessa lähimmäksi osuvia asetuksia,

TAULUKKO 5. Metsä Boardin ohjearvot nuuttaukseen (Metsä Group)

Paperboard Caliper mm PT (e)		Groove Depth mm PT (d)		Creasing rule Height mm Inches (h)		Creasing rule tip		Channel width			
						Thickness		CD		MD	
						mm	PT	mm	Inches	mm	Inches
						(f)		(b)		(b)	
0,200	8	0,20	8	23,50	0.925	0,53	1.5	0,8	0.031	0,7	0.028
0,250	10	0,25	10	23,45	0.923	0,53	1.5	0,9	0.035	0,8	0.031
0,300	12	0,30	12	23,40	0.921	0,53	1.5	1,0	0.039	0,9	0.035
0,350	14	0,35	14	23,35	0.919	0,70	2	1,2	0.047	1,1	0.043
0,400	16	0,40	16	23,30	0.917	0,70	2	1,3	0.051	1,2	0.047
0,450	18	0,45	18	23,25	0.915	0,70	2	1,4	0.055	1,3	0.051
0,500	20	0,50	20	23,20	0.913	0,70	2	1,5	0.059	1,4	0.055
0,550	22	0,55	22	23,15	0.911	0,70	2	1,6	0.063	1,5	0.059
0,600	24	0,60	24	23,10	0.909	0,70	2	1,7	0.067	1,6	0.063
0,650	26	0,65	26	23,05	0.907	1,05	3	2,0	0.079	1,9	0.075
0,700	28	0,70	28	23,00	0.906	1,05	3	2,1	0.083	2,0	0.079

Kokeellisen osuuteen sisältyi mittaukset BOBST Crease Checkerillä ja Lorentz & Wettren bending -testerillä sekä mahdolliset jatkotutkimukset edellä mainittujen mittausten tulosten pohjalta.

## 5.2 Näytteiden valmistelu

Säilötyt kartonkinäytteet tulee säilyttää paperilaboratoriossa vähintään vuorokausi ennen mittausten aloitusta. Kauemmin säilötyt näytteet olisi hyvä antaa seisoa vakioituissa olosuhteissa pidempään. Paperilaboratorion olosuhteet ovat 23 celsiusastetta ja 50 prosentin suhteellista kosteutta. Kyseiset arvot saavat vaihdella maksimissaan 2 lämpöastetta tai 5 kosteusprosenttia. Kyseisiä arvoja tarkkaillaan useilla eri mittauspisteillä ympäri laboratoriota ja arvojen vaihtelua seurataan ohjelmallisesti ympäri vuorokauden. Mikäli kosteus tai lämpötila ei ole sallittujen rajojen sisällä joudutaan mittaukset lopettamaan.

Näytteet ilmastoidaan mahdollisuuksien mukaan standardin ISO 186 mukaisesti.

## 5.3 Bobst Crease Checker

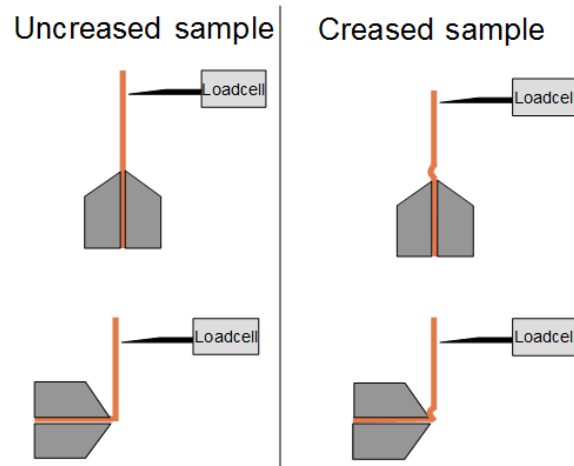
Bobst crease checkerillä pystytään valon avulla tutkimaan taivuttamattomasta nuuttauksesta muun muassa nuuttauksen syvyyttä, beadin eli palkon leveyttä ja nuuttauksen symmetrisyyttä.

Eri nuuttauksista mitattiin nuuttauksen halkaisija ja sen syvyys pohjapuolelta ja pintapuolelta taitoksen kokoa sekä korkeutta. Heikkona puolena Bobst crease checkerillä on vaikeus arvioida matalien nuuttausten palkon leveyttä tarkasti Bobstin omalla ohjelmalla.

Mittauksista saadut tulokset tallennettiin tekstitiedostona sekä PDF:nä, jossa oli myös kuva viimeisimmästä mittauksesta. Tekstitiedostoista kerättiin saadut arvot kerääjämakron avulla ja laskettiin mittausten keskiarvo sekä keskihajonta yhteen Excel-taulukoon.

## 5.4 Lorentzen & Wettre Bending Tester

Mitattavat suorat kartonki- ja nuuttausnäytteet valmistettiin Lorentzen & Wettre näytestanssilla, joka stanssaa 38 X 80 millimetrin pituisia näytepaloja. Vaatimuksena näytepaloille oli, että nuuttaussauaman tulee olla noin 20 millimetrin päästä näytteen pitimen leuoista kuvion 11 osoittamalla tavalla.



KUVIO 11. L&W Bending Testerin näytteenasettelu

Creaseability eli nuuttautuvuutta mitattiin Lorentzen & Wettre Bending Testerillä. Jokainen mittaus tallennettiin tietokoneelle mittauksen jälkeen automaattisesti, jonka jälkeen se nimettiin kerääjämakrolle luettavaan muotoon.

Nuutattu näyte asetettiin siten, että nuuttauksen palko oli noin millimetrin päässä pidikkeestä ja palkopuoli itseä kohti. Näytteen asettamisen jälkeen lukittiin näyte ja ajettiin kiinni anturiin, jonka jälkeen se taivutettiin  $90^\circ$  asteen kulmaan ja taivutettiin nopeudella  $45^\circ/\text{s}$ . Näytettä pidettiin taivutettuna 15 sekunnin ajan. Näytteitä otettiin yhdestä näytestä yhteensä 30 kappaletta joista 6 rinnakkaista mittausta per kohta. Mitattavia kohteita olivat A-nuuttaus, B-nuuttaus, C-nuuttaus ja nuuttaamattomat näytteet kone- sekä poikkisuuntaan taivutettuina.

Foldability eli taitettavuus kuvaa kartongin kykyä säilyttää haluttu muoto. Hyvän taitettavuuden ominaisuuksia ovat suoruus, joka edellyttää myös hyvää jäykkyyttä ja matala takaisinponnahdusmomentti. Mitä suurempi taitettavuus, sen parempi nuuttaussauma on kyseessä.

Curvature eli kaareutuvuus. Kun R pienenee, kaareutuvuus pienenee ja kartonki on suorempi.

Folding Factor eli taitettavuuskerroin kuvaa momentin pienentymistä nuuttauksessa. Mitä korkeampi %-arvo tulee, sen parempi ilman, että tapahtuu murtumista.

(Kultalahti K. & Myyryläinen J. 2017)



KUVA 7. L&W Bending Tester (ABB)

Mitattaessa nuutattavuutta L&W:n Bending Testerillä laite antoi tulokseksi seuraavat keskiarvot sekä keskihajonnat seuraaville suureille:

- **Stiffness, (S)**, taivutusjäykkyys, [mNm]
- **Max mom. <90°, (M)**, maksimitaivutusmomentti, [mNm]
- **Angle Max mom., ( $\theta_{\max}$ )**, maksimitaivutusmomenttia vastaava kulma, [kulma asteina]
- **Mom 90°**, Spring-back moment eli takaisinponnahdusmomentti 90 asteen kulmassa, [mNm]
- **Relax mom.**, takaisinponnahdusmomentti 5s viiveen jälkeen, [mNm]
- **Relax angle, ( $\theta$ )**, kulma jossa momentti saavuttaa nolla paluuliikkeessä, [kulma asteina]
- **Curve area, (W)**, taivutustyötä kuvaava suure, joka on käyrän sisään jäävä pinta-ala, [mNm]

(Kultalahti K. & Myyryläinen J. 2017)

Näillä arvoilla pystyttiin laskemaan nuuttautuvuutta kuvaavia tunnuslukuja. Osa arvoista kuten maksimitaivutusmomentti näkyi osassa nuutattuja näytteitä vasta 90 asteen kulmassa. Tällöin maksimi momentiksi huomioitiin aikaisempi huippu.

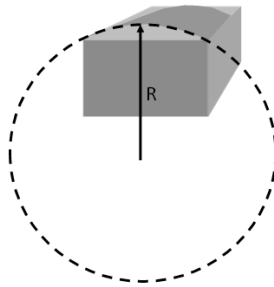
Taitettavuus on oleellinen jalostuksessa, kun koteloaihiota taitetaan sivuliimaukseen ja myöhemmin aukaistaan lopulliseen muotoonsa ja suljetaan. Huono taitettavuus voi ilmetä pullistuneina kotelon kylkinä jäännöstaivutusmomentin seurauksena. Huonoimmillaan huono taitettavuus voi aiheuttaa pysähdyksiä pakkauslinjoilla ja tarpeetonta materiaalihävikkiä.

Hyvä taitettavuus on johdannainen hyvästä nuuttauksesta. Alhainen taivutusjäykkyys nuutatulla alueella yhdessä korkean jäykkyyden kanssa auttavat saavuttamaan hyvän taitettavuuden. Taitettavuus lasketaan seuraavan kaavan avulla

$$F = \frac{Stiffness_{unc}}{Max\ mom < 90^\circ_c} \quad (1)$$

Kaarevuus taas kaavan (2) avulla. Tämä arvo indikoi, kuinka hyvin laatikko säilyttää halutun laatikkomaisen muotonsa. Toisin sanoen laatikon R -arvon ollessa suuri ja kaarevuus täten lähellä nollaa, seinämät ovat suorat eikä niissä tapahdu pullistumista. Kaavassa taitettavuus kerrotaan näytekappaleen leveyden kanssa.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(F * 0,038)} \quad (2)$$



KUVIO 12. Kartongin kaareutuvuus (L&W Handbook. 2013)

Taivutustöiden suhde vertailee nuutatun näytteen pinta-alan suhdetta nuuttaamattomaan näytteeseen. Tämä suhde kertoo, kuinka paljon vähemmän energiaa vaaditaan nuutatun näytteen taivuttamiseen, verrattuna nuuttaamattomaan.

$$\frac{W_c}{W_{unc}} = \frac{Curve\ area_c}{Curve\ area_{unc}} * 100\% \quad (3)$$

Momentti mitataan nuutatusta ja nuuttaamattomasta näytteestä. Folding Factor eli taittavuuskerroin kuvaa momentin pienentymistä nuuttauksessa. Mitä korkeampi taittavuuskerroin, sitä paremmin kartonki kestää ilman selvää murtumista

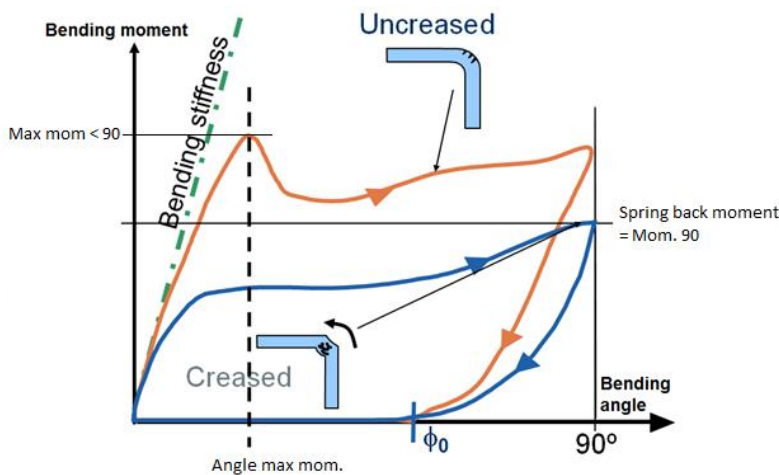
$$\text{Folding factor from moment [\%]} = \frac{M_{unc} - M_c}{M_{unc}} * 100 \% \quad (4)$$

45-60 % ilman murtumia on hyvä

$$\text{Folding factor from work [\%]} = \frac{W_{unc} - W_c}{W_{unc}} * 100 \% \quad (5)$$

45-60 % ilman murtumia on hyvä

Kuviossa 13 oranssilla on kuvattu nuuttaamattoman näytteen taipumista. Kuvaajan saavutettua maksimaalisen arvonsa alle 90 asteen kulmassa, syntyy näytteeseen taitos, jolloin taivutusmomentti laskee. Tästä saadaan maksimitaivutusmomentti. Taivutusjäykkyys voidaan laskea siitä, kuinka jyrkästi kuvaaja lähtee nousemaan ja mittaamalla tämän viivan kulmakertoimen.



KUVIO 13. Taivutusmomentti (L&W Handbook. 2013)

Sinisellä viivalla eli nuutatulla näytteellä takaisinponnahdusmomentti on mitattavissa kulmakertoimesta, kun näyte pyrkii palautumaan takaisin alkuperäiseen muotoonsa 90 asteen kulmassa viiden sekunnin viiveen jälkeen.

## 6 YHTEENVETO

Nuuttaukseen valittava kartonkilaji vaikuttaa suuresti nuuttauksen lopputulokseen. Kartonki, joka kestää nuuttausolosuhteet hyvin ja on rakenteeltaan bulkkinen sekä palstautuu halutulla tavalla viivaimen muotoon johtaa yleensä hyvään lopputulokseen. Jäykkä kartonki edesauttaa sen käsiteltävyyttä jalostuslinjoilla ja antaa lopputuotteelle vahvuutta sekä ryhtiä.

Ongelmatilanteet nuuttauksessa tulevat yleensä ilmi pinnan murtumisena erityisesti painetuilla pinnoilla tai pysähdyksinä pakkauslinjoilla. Syinä pysähdyksille on yleensä kartongin riittämätön palstautuminen nuuttauksessa, epäsymmetriset nuuttaukset tai epätasainen laatu kotelo aihoiden välillä.

Lorentzen & Wettren Bending Testerillä voidaan mitata nuutatuista ja nuuttaamattomista muun muassa taivutusjäykkyyttä, takaisinponnahdusmomenttia ja maksimitaivutusmomenttia. Näiden mitattujen suureiden avulla voidaan laskea tunnuslukuja kuvaamaan kartongin nuutattavuutta. Nuuttien syvyyttä ja symmetriaa voidaan tarkastella Bobst Crease Checkerillä.

**LÄHTEET**

ABB, L&W Bending Tester. Luettu 17.3.2018 <http://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/lorentzen-wetpre-products/laboratory-paper-testing/l-w-bending-tester>.

BOBST Crease checker Preliminary user manual. Luettu 13.3.2018

Hine, D. 1999. Cartons and cartoning. Leatherhead: Pira International.

Iggesund Paperboard AB. 2010. Reference Manual, Intellecta Infolog,

Järvi-Kääriäinen, T. & Ollila, M. 2007. Toimiva pakkaus. Helsinki : Pakkausteknologia-PTR.

Kultalahti K. & Myyryläinen J. 2017. BOBST Crease Checker työohje

Joukio R. & Mansikkamäki S. 1998. Cartonboard package manufacturing and applications, Teoksessa Savolainen A. (toim.) Papermaking Part 12, Paper and paperboard converting. Helsinki: Fapet Oy, 214 - 241.

L&W Handbook. 14. painos. 2013, 155.

Marbach products. Luettu 14.3.2018 <https://www.marbach.com/en/tools-and-cutting-dies>

Metsä Group Intranet (Rajoitettu pääsy)

KnowPap 19.0. Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. <http://www.know-pap.com> (Rajoitettu pääsy)

Seppälä, M. J. 2004. Kemiallinen metsäteollisuus: 3, Paperin ja kartongin jalostus. 2. uud. p. Helsinki: Opetushallitus.

Soroka, W. 2009. Fundamentals of Packaging Technology. 4. painos. Illinois: Institute of Packaging Professionals.



**LIIITEET**